(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118202816 A
(43)申请公布日 2024.06.14

(21)申请号 202280074072.3

(22)申请日 2022.09.28

(30)优先权数据
FR2111960 2021.11.10 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.05.07

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2022/051837 2022.09.28

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/084164 FR 2023.05.19

(71)申请人 索泰克公司
地址 法国伯尔宁

(72)发明人 D·贝尔哈切米 R·考尔米隆
I·于耶 O·科农丘克

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 刘杨 赵鹏

(51)Int.Cl.
H10N 30/082(2006.01)
H10N 30/072(2006.01)
H10N 30/853(2006.01)

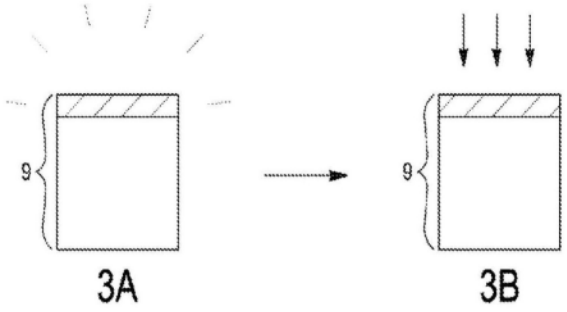
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

制备铁电材料的薄层的方法

(57)摘要

本发明涉及一种制备铁电材料的薄层(3)的方法,该方法包括提供薄层(3)的步骤,该薄层(3)具有露出的第一自由面(8)。该方法还包括通过离子蚀刻进行减薄的步骤,该步骤由蚀刻参数限定。根据本发明,蚀刻参数被选择为使得薄层(3)的自由面(8)在减薄步骤结束时具有不超过阈值的粗糙度。



CN 118202816 A

1.一种制备单晶铁电材料的薄膜(3)的方法,所述方法包括以下步骤:

-提供所述薄膜(3)的步骤,所述薄膜(3)露出第一自由面(8);

-通过离子蚀刻减薄所述薄膜并通过蚀刻参数进行限定的步骤;

所述方法的特征在于,提供步骤包括:将包括脆化平面(2)的供体基板(1)与支承基板(7)组装,以及在所述脆化平面(2)的水平处分离所述薄膜(3),所述薄膜(3)具有与所述自由面(8)相反并且放置在所述支承基板(7)上的第二面,并且所述蚀刻参数被选择为使得所述薄膜(3)的所述自由面(8)在减薄步骤结束时具有不超过阈值的粗糙度。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,提供步骤包括:通过在所述供体基板(1)中注入氢离子来形成所述脆化平面(2)。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其中,减薄步骤之后是所述自由面(8)的化学机械触摸抛光。

4.根据权利要求1至3中任一项所述的方法,其中,提供步骤包括将所述薄膜(3)的所述自由面(8)露出到特定气体气氛的热处理步骤。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其中,所述热处理在介于300℃至构成所述薄膜(3)的所述铁电材料的居里温度之间的温度下进行长达介于30分钟至10小时之间的时段。

6.根据权利要求4或5所述的方法,其中,所述热处理步骤是在氧化或中性气体气氛下进行的。

7.根据权利要求4至6中任一项所述的方法,在所述热处理步骤与减薄步骤之间包括以下步骤:平滑所述自由面(8),以将其表面粗糙度降低到低于粗糙度阈值的值。

8.根据权利要求7所述的方法,其中,所述平滑步骤包括所述自由面(8)的化学机械触摸抛光。

9.根据权利要求1至8中任一项所述的方法,其中,所述粗糙度阈值介于3nm至7nm之间。

10.一种基板,所述基板包括布置在支承件(7)上的单晶和单畴铁电材料的薄膜(3),所述薄膜的厚度小于或等于700nm并且厚度均匀性小于或等于60nm。

11.根据权利要求10所述的基板,所述基板包括放置在所述薄膜(3)与所述支承件(7)之间的非晶中间层。

12.根据权利要求11所述的基板,其中,所述非晶中间层是氧化硅、氧氮化硅或氮化硅。

13.根据权利要求10至12中任一项所述的基板,其中,所述薄膜(3)包括粗糙度小于0.5nm的自由面(8)。

14.根据权利要求10至13中任一项所述的基板,其中,所述薄膜(3)的所述铁电材料是LiTaO3或LiNbO3。

15.根据权利要求10至14中任一项所述的基板,其中,所述支承件(7)在所述薄膜(3)的一侧包括电荷俘获层。

制备铁电材料的薄层的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种制备铁电材料的薄膜的方法。更具体地,本发明涉及一种使得能够在最终产品的薄膜中保持铁电材料的单畴性质的制备方法。该制备方法例如用于微电子、微机械、光子学等领域。

背景技术

[0002] 在前言中,注意到铁电材料是在自然状态下具有电极化的材料,可以通过施加外部电场来反转极化。“铁电畴”是指单片材料中的如下每个区域:在该区域中,极化是均匀的(所有偶极矩在给定方向上彼此平行地排列)。因此,在铁电材料由极化均匀的单个区域形成的情况下,该材料可以被表征为“单畴”,或者在铁电材料包括具有可以不同的极化的多个区域的情况下,该材料可以被表征为“多畴”。

[0003] 从现有技术中已知用于形成铁电材料的薄膜的各种工艺。例如,它可以是使用分子束外延、等离子体溅射、激光脉冲淀积或甚至应用Smart Cut™技术的技术,由此通过在通过注入轻物质而在固体基板中形成的易碎区(或脆化平面)上破裂而从铁电材料的固体基板去除薄膜。

[0004] 本发明更具体地涉及通过应用这种方法而获得的铁电薄膜的制备,并且在文献EP3646374B1中可以找到其特定示例实施方式。

[0005] 根据该方法并且在去除膜的步骤之后,通常需要对其应用处理,旨在改善其表面状态或其结晶质量或改变其厚度。然而,申请人已经观察到,当将这些制备步骤应用于已被转移到硅支承件上的铁电薄膜时,这些制备步骤可能导致在薄膜内形成多个铁电畴,从而赋予其多畴性质。

[0006] 这种特征使得膜不适合使用,因为它会影响将在薄膜上/薄膜中形成的器件(例如,诸如表面声波器件(SAW))的性能。

[0007] 文献WO2020200986公开了在膜的表面部分中形成铁电畴是由于在施加热处理期间在薄膜中存在氢浓度梯度引起的。该氢可以具体地对应于注入到固体基板中以在其中形成脆化区从而使得可以去除那里的薄膜的轻物质。为了永久地恢复薄膜的单畴性质,该文献建议在应用这种热处理之后减薄铁电薄膜。

[0008] 这种减薄具体地可以通过膜的化学机械抛光来实现,但是通过抛光去除相对大厚度的材料往往会使该膜的厚度均匀性劣化。通过示例的方式,去除大约400nm的厚度以获得约700nm的目标厚度会导致形成具有大约100nm的厚度均匀性(即,当例如通过反射测量法或椭圆光度法在膜的整个范围上的多个测量点处进行该厚度测量时,最大厚度与最小厚度之差)的膜。这种厚度变化是不可接受的,因为它可能不能由这种膜共同制造具有所有所需特征的器件。

[0009] 存在通过化学机械抛光进行减薄的另选方案。具体地,可以设想通过离子蚀刻来减薄铁电薄膜,例如,通过用反应性离子进行蚀刻(或根据通常使用的表达式的“反应性离子蚀刻”RIE蚀刻)。RIE是使用化学反应性离子等离子体从晶片去除表面材料的干蚀刻类

型。等离子体在低压下由电磁场产生。高能量等离子体离子攻击膜的表面并与其反应以将其粉碎,从而使其逐渐减薄。

[0010] 因此,文献US2018261756提出通过CSD淀积形成厚度约2微米的PZT以形成非晶压电膜。该膜被露出于温度以形成多晶体。然后,例如通过RIE蚀刻来蚀刻50nm的厚度,以降低其粗糙度并提高其介电电压。

[0011] 发明主题

[0012] 本发明旨在确定对单晶铁电材料的薄膜的自由面应用离子蚀刻以使其减薄的条件。本发明的目的是提出一种制备铁电材料的薄膜的方法,其至少部分地解决了上述缺点。更具体地,本发明的目的是提出一种对通过在脆化平面处从供体基板分离而获得的单晶铁电材料的薄膜进行离子蚀刻的方法,该方法保持或恢复薄膜的单畴性质。本发明的另一目的是提出一种对通过在供体基板的脆化平面处分离而获得的薄膜进行减薄的方法,该减薄方法使得可以形成单晶铁电材料的薄膜,该薄膜是单畴的并且具有比可以通过实施化学机械抛光的减薄工艺而获得的厚度更均匀的厚度。

发明内容

[0013] 为了实现这些目的之一,本发明的主题是一种制备单晶铁电材料的薄膜的方法,该方法包括以下步骤:

[0014] -提供薄膜的步骤,所述薄膜露出第一自由面;

[0015] -通过离子蚀刻减薄所述薄膜并通过蚀刻参数进行限定的步骤。

[0016] 根据本发明,提供步骤包括:将包括脆化平面的供体基板与支承基板组装,以及在所述脆化平面的水平处分离所述薄膜,所述薄膜具有与所述自由面相反并且放置在所述支承基板上的第二面。此外,所述蚀刻参数被选择为使得所述薄膜的所述自由面在减薄步骤结束时具有不超过阈值的粗糙度。

[0017] 根据本发明的单独的或采用任何技术上可行的组合的其它有利和非限制性特征:

[0018] • 提供步骤包括:通过所述供体基板中的氢离子注入来形成所述脆化平面;

[0019] • 所述供体基板是固体材料块;

[0020] • 所述供体基板包括布置在操纵器基板(manipulator substrate)上的铁电材料的厚层;

[0021] • 减薄步骤之后是所述自由面的化学机械触摸抛光;

[0022] • 提供步骤包括将所述薄膜的所述自由面露出到特定气体气氛的热处理步骤;

[0023] • 所述热处理是在介于300℃至构成所述薄膜的所述铁电材料的居里温度之间的温度下进行的并且进行长达介于30分钟至10小时之间的时段;

[0024] • 所述热处理步骤是在氧化或中性气体气氛下进行的;

[0025] • 所述方法在所述热处理步骤与减薄步骤之间包括以下步骤:平滑所述自由面,以将其表面粗糙度降低到低于粗糙度阈值的值;

[0026] • 所述平滑步骤包括所述自由面的化学机械触摸抛光;

[0027] • 所述粗糙度阈值介于3nm至7nm之间。

[0028] 根据另一方面,本发明涉及一种基板,所述基板包括设置在支承件上的单晶和单畴铁电材料的薄膜,所述薄膜的厚度小于或等于700nm并且厚度均匀性小于或等于60nm。

[0029] 根据本发明的单独的或采用任何技术上可行的组合的其它有利和非限制性特征：

[0030] • 所述基板包括放置在所述薄膜与所述支承件之间的非晶中间层；

[0031] • 所述非晶中间层是氧化硅、氧氮化硅或氮化硅；

[0032] • 所述薄膜包括粗糙度小于0.5nm的自由面；

[0033] • 所述薄膜的所述铁电材料是LiTaO3或LiNbO3；

[0034] • 所述薄膜的所述铁电材料具有42°RY晶向；

[0035] • 所述支承件在薄膜侧包括电荷俘获层。

附图说明

[0036] 本发明的另外的特征和优点将从参考附图对本发明进行的以下详细描述中变得显而易见，在附图中：

[0037] [图1]

[0038] 图1示出了根据第一实施方式的薄膜提供步骤；

[0039] [图2]

[0040] 图2示出了根据第二实施方式的薄膜提供步骤；

[0041] [图3]

[0042] 图3示出了根据本发明的制备方法。

具体实施方式

[0043] 为了简化以下描述，在所公开的方法的不同实施方式中，相同的附图标记用于相同的元件或用于执行相同功能的元件。

[0044] 附图是示意性表示，为了便于阅读，其没有按比例绘制。具体地，层的厚度相对于这些层的横向尺寸不成比例。

[0045] 在本说明书的其余部分中关于层或基板使用的表述“热膨胀系数”是指限定该层或该基板的主平面中限定的方向上的膨胀系数。如果材料是各向异性的，则系数的保留值将是具有最大幅度的值。系数的值是在室温下测量的值。

[0046] 本发明涉及一种制备由铁电材料制成的薄膜3的方法，该薄膜通过包括在供体基板1中注入轻物质的转移技术从单晶供体基板1转移到支承基板7。存在这种提供薄膜步骤的多个实施方式。

[0047] 根据第一实施方式，如图1的1A至1D所示，供体基板1由固态、单晶和单畴铁电材料块组成，例如，LiTaO3、LiNbO3、LiAlO3、BaTiO3、PbZrTiO3、KNbO3、BaZrO3、CaTiO3、PbTiO3或KTaO3的块。供体基板1可以呈现标准尺寸的圆形晶片的形式，例如，直径为150mm或200mm。然而，本发明绝不限于这些尺寸或这种形状。供体基板可以已经从铁电材料的晶锭去除，该去除已经进行以使得供体基板1具有预定晶向。根据预期应用选择取向。因此，在旨在利用薄膜的特性来形成SAW滤波器的情况下，通常的做法是选择42°RY的取向。然而，本发明绝不限于特定晶向。

[0048] 与供体基板1的晶向无关，该方法包括向供体基板1中引入至少一种轻物质。该引入可以对应于注入，即，通过诸如氢和/或氦离子的轻物质对供体基板1的平面4的离子轰击。

[0049] 以本身已知的方式,如图1的1B所示,注入的离子的目的是形成限定待转移的铁电材料的薄膜3的脆化平面2,该薄膜3位于平面4的一侧,而另一部分5形成基板的其余部分。

[0050] 注入的物质的性质、剂量和注入能量被选择为旨在被转移的膜的厚度和供体基板的物理化学特性的函数。在由LiTaO3制成的供体基板1的情况下,将可以选择注入介于$1^{E}16$ at/cm^2至$5^{E}17$ at/cm^2之间的氢剂量,其中能量介于30keV至300keV之间,以限定大约200nm至2000nm的薄膜3。

[0051] 在接下来的步骤,如图1的1C所示,组装供体基板1的平面4与支承基板7的面6。支承基板7可以与供体基板的尺寸和形状相同。出于可用性和成本的原因,支承基板7是单晶或多晶硅晶片。然而,更一般地,支承基板7可以由任何材料(例如,硅、蓝宝石或玻璃)形成,并且可以是任何形状。

[0052] 在特定实施方式中,支承基板包括例如以单晶硅的基础基板7b,其上布置有电荷俘获层7a。基础基板7b可以具有大于1000ohms.cm或更通常地小于1000ohms.cm的高电阻率。如本身已知的,电荷俘获层7a可以由多晶硅层形成,并且具有通常介于500nm至10微米之间的厚度。

[0053] 在组装步骤之前,可以设想使用清洁、刷洗、干燥或抛光步骤或使用例如通过等离子体的活化来准备待组装的基板的面。

[0054] 组装步骤可以对应于通过分子粘附和/或静电接合使供体基板1与支承基板7紧密接触。可选地,为了促进两个基板1、7的组装,特别是当它们通过直接接合组装时,可以在组装之前在供体基板1的平面4上或在支承基板7的待组装的平面6上或在两者上形成至少一个非晶中间层。该中间层例如由氧化硅、氮化硅、氮氧化硅构成。它的厚度可以介于几纳米至几微米之间。

[0055] 将优选具有低氢浓度或形成氢扩散阻挡层的中间层,以遵循文献WO2020200986的教导,并因此避免在薄膜3的第二面侧上在薄膜与非晶中间层之间的界面处形成多畴区。可以根据现有技术中已知的各种技术生产中间层,诸如热氧化或氮化处理、化学淀积(PECVD、LPCVD…)等。

[0056] 在该组装步骤结束时,获得包括两个关联基板的组件,其中支承基板7的平面6粘附至供体基板1的平面4。

[0057] 然后对该组件进行处理以使铁电材料的薄膜3与供体基板1分离,例如,通过在脆化平面2处裂开。

[0058] 该分离步骤因此可以包括在大约80℃至300℃的温度范围内对组件施加热处理,以允许薄膜3转移到支承基板7上。代替热处理或除了热处理之外,该步骤可以包括在脆化平面2处施加叶片(blade)或气态或液态流体的射流。

[0059] 在该分离步骤之后,获得图1的1D所示的结构9。该结构9包括单晶铁电材料的薄膜3,其包括第一自由面8和布置在支承基板7上的第二面4。

[0060] 图2的2A至2D示出了第二实施方式,其特别适于制造异质结构9,其中,薄膜3的热膨胀系数与支承件7的热膨胀系数非常不同,例如,具有大于10%的差。该第二实施方式与第一实施方式的主要区别在于供体基板1的性质。为了简洁起见,因此,这里仅呈现该第二实施方式的与第一实施方式不同的元件,因此能够设想第一实施方式的所有其它特征。

[0061] 参考图2的2A,在这种情况下,供体基板1由具有与关于第一实施方式的铁电材料

的固体块所描述的特性相同的特性的铁电材料的厚层1a和操纵器基板1b组成。

[0062] 操纵器基板1b有利地由一种材料(或多种材料)形成,该材料向操纵器基板1b提供接近构成支承基板7的材料的热膨胀系数的热膨胀系数。“接近”是指操纵器基板1b的热膨胀系数与支承件的热膨胀系数之差作为绝对值小于铁电材料固体块的热膨胀系数与支承基板7的热膨胀系数之差。

[0063] 优选地,操纵器基板1b和支承基板具有相同的热膨胀系数。在供体基板1和支承件7的组装期间,形成适于经受住相对高温下的热处理的结构。为了实现方式的简单起见,这可以通过选择操纵器基板1b以使得它由与支承基板7的材料相同的材料形成来获得。

[0064] 为了形成该实施方式的供体基板1,首先例如根据通过如上所述的分子粘合或借助于粘合层的接合技术将铁电材料的固体块与操纵器基板1a组装在一起。然后,通过减薄(例如,通过研磨和/或化学机械抛光和/或蚀刻)形成铁电材料的膜1a。在组装之前,可以在接触的面中的一者和/或另一者上形成粘合层(例如,通过淀积例如聚合物的粘合层的氧化硅和/或氮化硅)。组装可以包括施加低温热处理(例如,介于50℃至300℃之间,通常是100℃),该低温热处理允许充分增强接合能,以允许下一减薄步骤。

[0065] 操纵器基板1b被选择为具有基本上等于支承基板7的厚度的厚度。执行减薄步骤,以使得厚层1a的厚度足够小,以使得在其余工艺中施加的热处理期间产生的应力具有较低的强度。同时,该厚度足够大以能够去除薄膜3或多个这种膜。该厚度例如可以介于5微米至400微米之间。

[0066] 该第二实施方式的方法的以下步骤等同于第一实施方式中描述的步骤中的那些步骤。在厚层1a内注入轻物质以产生脆化平面2,这标志着薄膜3与供体基板1的其余部分5的分离,如图2的2B所示。该步骤之后是将供体基板1组装在支承基板7上的步骤,如图2的2C所示。然后将薄膜3与基板5的其余部分分离,以获得图2的2D所示的结构9。

[0067] 该实施方式的优点在于,由供体基板1和支承件7形成的组件可以露出到比第一实施方式中应用的温度高得多的温度,而没有基板之一的不受控破裂或薄膜3的供体基板1的分层的任何风险。就该组件的热膨胀系数而言,平衡结构因此使得可以通过将组件露出到相对高的温度(例如,介于100℃至500℃之间)来促进分离薄膜3的步骤。

[0068] 与所选择的实施方式无关并且如在本申请的引言中指定的,随后需要对薄膜3进行精加工以改善其结晶和表面质量的阶段,并且提供厚度与目标厚度匹配或接近目标厚度的薄膜3。这些精加工步骤的目的特别是消除加工硬化和粗糙的表面层,该表面层是由薄膜3从供体基板的其余部分的分裂和分离产生的。

[0069] 如文献WO2020200986中所述,首先对转移的薄膜3应用热处理步骤。该热处理使得可以固化薄膜3中存在的晶体缺陷,或者甚至降低薄膜的自由面的粗糙度。此外,它有助于加固薄膜3与支承件7之间的接合。热处理使结构达到介于300℃至铁电材料的居里温度之间的温度长达介于30分钟至10小时之间的时段。该热处理优选地通过将薄膜3的自由面露出到氧化或中性气体气氛而进行,即,不用保护层覆盖薄膜的该面。

[0070] 为了避免任何模糊,要强调的是,薄膜3的精加工热处理步骤不同于施加到组装的结构的破裂热处理。

[0071] 根据本发明的方法还包括在精加工热处理之后减薄薄膜3的步骤。该步骤具体旨在消除可能在先前热处理步骤期间产生的多畴表面层。其目的还在于提供薄膜3,其厚度对

应于目标厚度,如前所述。这种减薄通常可以对应于薄膜3的第一自由面8的抛光,例如,通过机械、化学机械减薄技术。这种减薄可以使得去除介于100nm至1微米之间的厚度,这取决于转移的层的厚度、薄膜3的目标厚度、多畴和/或加工硬化层的厚度,该加工硬化层存在于精加工热处理的表面上。然而,如在本申请的引言中所呈现的,这种通过化学机械抛光进行减薄的方法往往会使薄膜3的均匀性的特性劣化,这是不可接受的。因此,申请人进行的附加实验表明,针对100nm的去除,该均匀性会劣化约25nm。

[0072] 在寻找通过抛光进行减薄的另选方案中,申请人已经进行了旨在通过离子蚀刻实现该减薄步骤的以下实验。

[0073] 实验样本由转移到硅基板上的钽酸锂单晶薄膜组成(根据刚刚公开的方法并包括精加工热处理),然而该薄膜没有经历任何减薄阶段。因此,应用于该薄膜的制备方法仅由热处理步骤组成。因此,薄膜具有多畴表面厚度。它具有680nm的厚度和大约10nm RMS的粗糙度。

[0074] 在该样本上,分别应用第一RIE P1型离子蚀刻工艺和第二RIE P2型离子蚀刻工艺,各自基于CHF3的反应性气体。如在本申请的引言中所述,RIE蚀刻工艺包括将待处理的表面(这里是薄膜3的自由面8)露出到反应性离子等离子体。该等离子体导致包括薄膜的自由面的材料的表面蚀刻。

[0075] 离子蚀刻并且特别是RIE型的离子蚀刻对膜的粗糙度的影响取决于蚀刻参数,具体是取决于形成以产生反应性离子的等离子体的射频场的功率,取决于反应性气体的流速,取决于薄膜的温度(其可以通过控制放置有基板的支承件的温度来控制),以及取决于RIE设备的处理室中占主导的压力。

[0076] 应用于样本的第一RIE P1工艺呈现倾向于增大薄膜的粗糙度的蚀刻参数,特别是通过选择引入到室中的反应性气体的65sccm(针对“标准立方厘米每分钟”)的流速,即,针对标准条件为$1.08\times10^{-6}m^3/s$。该工艺被应用于样本以将薄膜的厚度减小200nm,并因此获得480nm的厚度。

[0077] 应用于样本的第二RIE P2工艺呈现倾向于降低薄膜的粗糙度的蚀刻参数,特别是通过选择引入室中的反应性气体的20 sccm的流速,即,在标准条件下为$0.3\times10^{-6}m^3/s$。该工艺被应用于样本以将薄膜的厚度减小200 nm,并因此获得480 nm的厚度。

[0078] 下表呈现了在进行的实验结束时获得的结果。粗糙度以在5×5μm的场上通过原子力测量测得的RMS量表示。

[0079]

	减薄步骤之后的薄膜的特性
P1	多畴 粗糙度:17 nm 均匀性:15.3 nm
P2	单畴 粗糙度:2.9 nm 均匀性:9.9 nm

[0080] 应当注意,应用第一工艺P1(其蚀刻参数倾向于增大薄膜的粗糙度)使得获得具有高粗糙度的减薄的膜。此外,与预期相反,该薄膜3的单畴性质还没有恢复。

[0081] 相反,应用第二工艺P2(其蚀刻参数倾向于降低薄膜的粗糙度)不仅使得获得粗糙度小得多的减薄的膜,而且还使得可以恢复薄膜3的单畴性质。

[0082] 应当注意,在两种情况下,没有经过通过抛光进行的减薄处理的样本的均匀性具有良好的质量。

[0083] 根据这些结果的可能的解释(其绝不限制本发明的制备方法的性能),当所述粗糙度过大时,似乎等离子体的离子与存在于粗糙度峰值中的压电材料相互作用,以改变其极化特性,这使得产生或保持表面上的多畴厚度。

[0084] 为了防止这种现象,因此看起来有必要选择蚀刻参数以将薄膜的粗糙度降低到阈值以下,从该阈值触发偏振特性的这种改变。

[0085] 薄膜的初始粗糙度(即,薄膜的刚好在应用减薄步骤之前的粗糙度)越大,并且具体地当它超过粗糙度阈值时,为了在该步骤期间和结束时降低和/或不超过粗糙度阈值而必须控制的蚀刻参数越多。相反地,初始粗糙度越低并且具体是当其低于粗糙度阈值时,可以自由选择的蚀刻参数越多,然而不会导致在减薄步骤结束时超过粗糙度阈值。以这种方式,该方法能够提供单畴薄膜,其均匀性比通过化学机械抛光减薄的薄膜的均匀性好得多。

[0086] 根据构成薄膜的铁电材料的性质,粗糙度阈值可以介于3nm至7nm之间,例如,5nm或6nm。

[0087] 因此,本发明利用这些结果提出了一种制备薄膜3的方法,如图3示意性所示。

[0088] 因此,制备方法包括单晶薄膜3的提供步骤,这使得露出该膜的第一自由面8,如前面已经解释的,例如,根据图1和图2中表示的方法中的一者或另一者。该提供步骤还包括施加精加工热处理步骤,该精加工热处理步骤具体旨在排出薄膜中存在的氢并使得形成多畴表面厚度(图3的3A)。在该步骤结束时,薄膜具有确定的粗糙度,通常大约为通过原子力测量(AFM)在5×5微米的场上测量的10nm RMS。它具有大约1000nm或更大的相对厚的厚度。

[0089] 在该提供步骤之后,根据本发明的制备方法包括减薄步骤,该减薄步骤旨在提供厚度通常大约为700nm或更小的选定层,即,单晶和单畴。

[0090] 非常普遍地并且如图3的3B所示,该减薄步骤通过离子蚀刻进行,即,将薄膜的自由面8露出于离子(有利地,反应性离子)。具体地,这些离子可以是氩离子、CHF3离子或能够与构成压电薄膜的材料发生化学反应的任何其它离子。根据所提供的薄膜3的厚度和目标厚度,减薄步骤可以使得消除大约50nm至900nm的厚度,并且通常消除大于100nm的厚度,例如,介于100nm至400nm之间。在所有情况下,与通过化学机械抛光使膜减薄时相比,膜的均匀性下降得少得多;该厚度均匀性可以小于60nm,如通过反射测量法或椭圆光度法测量的,或甚至小于30nm,并且甚至达到20nm或更小。

[0091] 为了实现这一点并且根据本发明,选择蚀刻参数,以使得薄膜3的自由面8在减薄步骤结束时具有不超过阈值的粗糙度。注意,考虑到要消除的相对大的厚度,选择蚀刻参数以使得它们有利于去除速度而不是粗糙度将更加自然。

[0092] 如上所述,可以通过减小以下蚀刻参数中的至少一者来降低通过离子蚀刻的减薄步骤的“粗糙化”效果:反应性气体的流动、形成以产生反应性离子等离子体的无线电场频率的功率、薄膜3的温度以及蚀刻设备的处理室中占主导的压力。

[0093] 本领域技术人员可以在一系列常规实验期间非常简单地调整这些参数,以针对给定材料并针对薄膜3的初始表面状态确定参数的哪个组合导致蚀刻,同时避免超过粗糙度阈值。

[0094] 如果提供步骤没有被充分控制并且该粗糙度从提供一个薄膜到提供另一薄膜是变化的,则制备方法可以在提供步骤与减薄步骤之间提供如下步骤:测量薄膜的粗糙度,以逐层地将RIE蚀刻工艺的蚀刻参数调整到所测量的粗糙度。

[0095] 根据特别有利的实施方式,本发明的制备方法在精加工热处理步骤与减薄步骤之间包括以下步骤:使自由面8平滑,以按相对低的初始值(例如,小于1nm RMS)降低其表面粗糙度。

[0096] 例如,平滑步骤包括自由面8的化学机械触摸抛光。该抛光旨在降低薄膜的粗糙度,而不显著减薄该膜。该非常表面的平滑步骤不影响膜的均匀性。

[0097] 薄膜3的自由面8的粗糙度被降低,通过降低在减薄步骤结束时超过粗糙度阈值的风险并因此通过恢复薄膜的单畴性质,可以比没有该平滑步骤时更自由地选择蚀刻参数。

[0098] 无论是否实施该初步平滑步骤,在减薄步骤之后,制备薄膜的方法之后可以包括自由面的化学机械触摸抛光。该步骤使得可以制备自由面8,使得其在结束时(如果在减薄步骤结束时没有获得的话)具有低粗糙度,例如,通过原子力测量(AFM)小于0.5nm RMS 5×5μm,而不影响该膜的均匀性。

[0099] 自然地,本发明不限于所描述的实施方式,并且可以在不脱离由权利要求限定的本发明的范围的情况下添加变型实施方式。

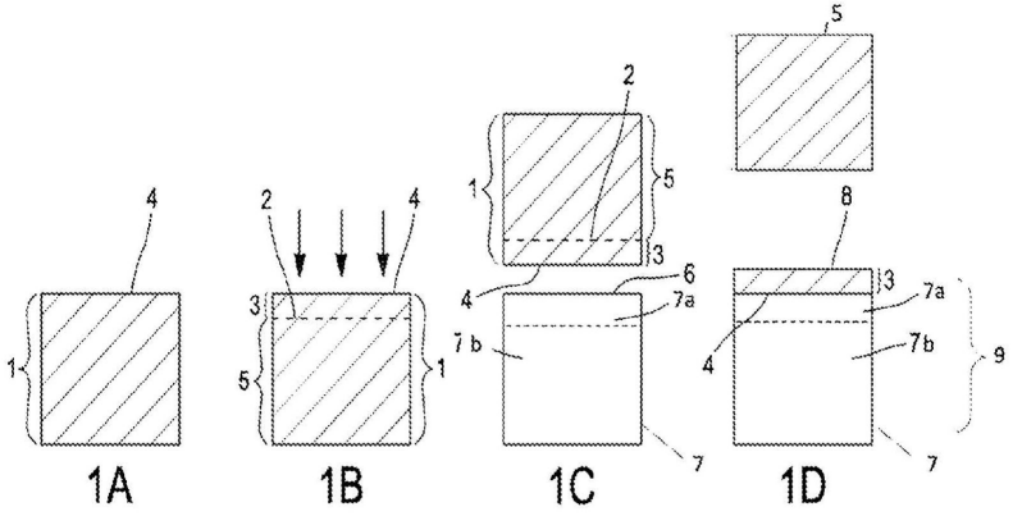


图1

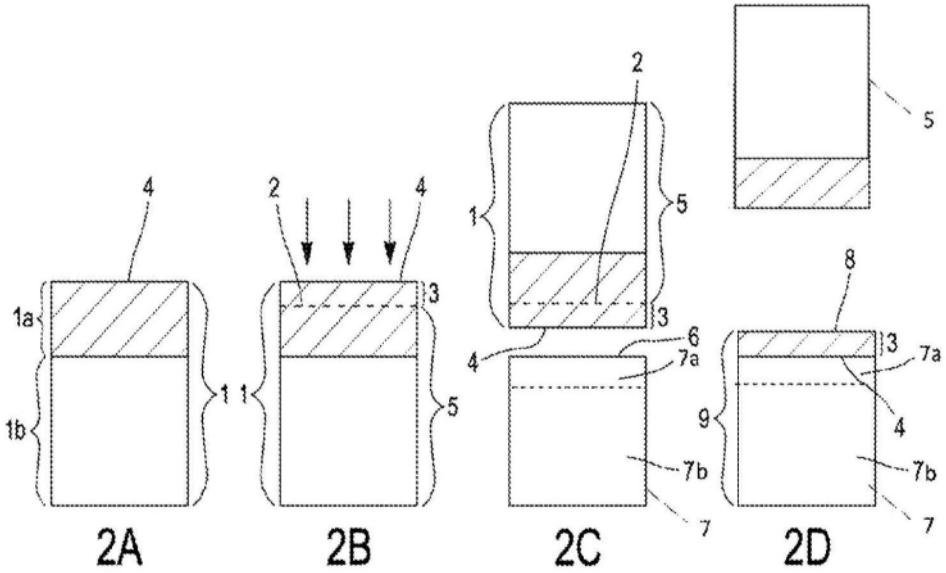


图2

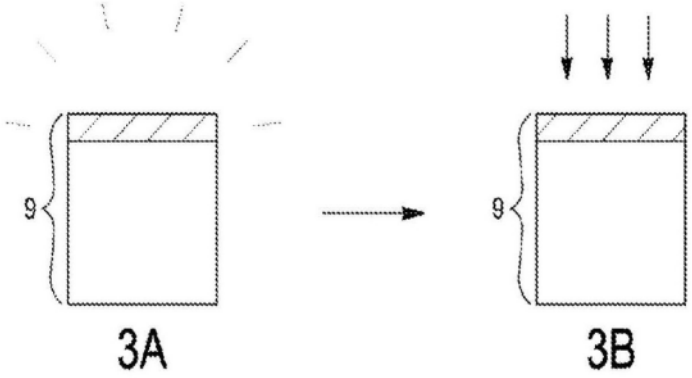


图3